Miika Juhala

SAMMUTUSKURISTIMEN SUUNNITTELU JA MITOITTAMINEN 20KV VERKKOMALLIIN

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Sähkövoima- ja automaatiotekniikan suuntautumisvaihtoehto

2011

samk
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

SAMMUTUSKURISTIMEN SUUNNITTELU JA MITOITTAMINEN 20 KV VERKKOMALLIIN

Juhala, Miika
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Joulukuu 2011
Ohjaaja: Nieminen, Esko
Sivumäärä: 29
Liitteitä: 8

Asiasanat: sammutuskuristin, verkkomalli, piirikaavio

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli mitata, laskea ja suunnitella sammutuskuristin 20 kV verkkomalliin, jotta se vastaisi paremmin Vähärauman sähköaseman verkkoa. Verkkomallin arvot mitattiin, jotta niitä voitaisiin verrata jo olemassa oleviin ja laskettuihin arvoihin. Lasketuista arvoista saatiin lopuksi sammutuskuristimen arvo.

Muita työhön kuuluvia tehtäviä oli piirtää selkeä ja yksinkertainen piirikaavio verkkomallista (liitteet 1-8), jotta laboratoriotöitä tekevät opiskelijat saisivat nopeasti hyvän kuvan laitteesta. Myös verkkomallin vertaaminen Vähärauman sähköaseman verkkoon kuului työhöni. Sopivan sammutuskuristimen hankintavaihtoehtojen tutkinta oli työn viimeinen vaihe.

DESIGNING AND MEASURING AN ARC SUPPRESSION COIL FOR THE 20 KV GRIDMODEL

Juhala, Miika
Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical engineering
December 2011
Supervisor: Nieminen, Esko
Number of pages: 29
Appendices: 8

Keywords: arc suppression coil, gridmodel, circuit diagram

The purpose of this thesis was to measure, calculate and design an arc suppression coil for the 20 kV grid model, so that it would match better with Vähärauma's electric station's grid. The gridmodel's values were measured, so that they could be compared to the already existing and calculated values. From the calculated values could the value of the arc suppression coil finally be determined.

Other assignments related to the thesis was to draw an explicit and simple circuit diagram of the gridmodel (appendices 1-8), so that students doing laboratory work would quickly get a clear view of the device. Comparing the gridmodel to Vähärauma's electric station's grid was also part of the thesis. The investigation of suitable arc suppression coil's purchase options was the last stage of this thesis.

LYHENTEET JA MERKIT

I	Virta
Ie	Maasulkuvirta
A	Ampeeri
V	Voltti
kV	Kilovoltti
Uv	Vaihejännite
Ω	Ohmi
F	Faradi
Xc	Kapasitiivinen reaktanssi
L	Induktanssi
H	Henry
mH	Millihenry
Xl	Induktiivinen reaktanssi
f	Taajuus
Hz	Hertzi
kVAr	Kilovari
Δ	Delta
π	Pii

SISÄLLYS

LYHENTEET JA MERKIT 4
1 JOHDANTO 7
2 KESKIJÄNNITEVERKKO JA SEN MAASULKUSUOJAUS 8
2.1 Suomen keskijänniteverkko 8
2.2 Maasulku 8
2.2.1 Maasulkuvirta 9
2.2.2 Maasulun aikaisia ilmiöitä 9
2.2.3 Maasulkusuojaus ja sen toteuttaminen 10
2.2.4 Suuren vikaimpedanssin kautta tapahtuvat maasulut 11
2.2.5 Kaksoismaasulut 11
3 MAASULKUVIRRAN KOMPENSOINTI 13
3.1 Keskitetty kompensointi 13
3.2 Hajautettu kompensointi 13
3.3 Kompensointilaitteisto 14
3.3.1 Maadoitusmuuntaja 14
3.3.2 Sammutuskuristin 14
3.3.3 Sammutuskuristimen säätäjä 15
3.3.4 Rinnakkaisvastus 16
3.4 Kompensoinnin edut ja haitat 16
4 VERKKOMALLIN VERTAAMINEN VÄHÄRAUMAN SÄHKÖASEMAN VERKKOON 17
4.1 Verkkomallista 17
4.1.1 VAMP 255 18
4.2 Vähärauman sähköasemasta 19
4.2.1 Maasulkuvirrat sähköasemalla 19
4.2.2 Sähköaseman sammutuskuristimet 19
4.3 Verkkomallin päivitysmahdollisuuksia 20
5 MITTAUKSET 21
5.1 Kokonaiskapasitanssi 21
5.2 Maasulkuvirta 22
6 LASKUT 23
6.1 Reaktanssi 23
6.2 Maasulkuvirta 23
6.3 Sammutuskuristimen arvo 23
6.4 Kaapelin pituuden määrittäminen 24

6.5 Tulokset24
7 SAMMUTUSKURISTIMEN HANKINTAVAIHTOEHDOT 25
7.1 Hankintaan vaikuttavat seikat 25
7.2 Trafotek 25
7.3 Trafomic 26
7.4 Hankintavaihtoehdot 26
8 YHTEENVETO 28
LÄHTEET 29
LIITTEET

1 JOHDANTO

Sähkönjakelussa yksi tärkeimpiä asioita on verkon häiriötön toiminta. Keskeytykset jakelussa aiheuttavat närkästyneitä asiakkaita ja pidemmät katkokset saattavat johtaa jopa korvausvaatimuksiin jakeluyhtiöltä. Yksi näistä jakelun keskeytyksiin johtavista syistä on maasulut. Ratkaisun maasulkuihin keksi W. Petersen vuonna 1916 kehittämällä ensimmäisen sammutuskuristimen (tästä nimitys Petersenin kela), jolla verkkoon ilmenevät maasulkuvirrat saadaan rajoitettua lähelle nollaa.

Näin ollen sähkölaboratoriossa sijaitsevaan verkkomalliin päätettiin hankkia sammutuskuristin, jotta voitaisiin simuloida paremmin Vähärauman sähköaseman tämän hetkistä verkkoa. Nykyisessä verkkomalliin liittyvässä laboratoriotyössä maasulkuja mitataan ilman kompensointia, joten sammutuskuristimen avulla saataisiin ko. työhön tarvittavaa realismia oikeasta jakeluverkosta. Tehtäväkseni tulikin mitoittaa ja suunnitella sopiva sammutuskuristin verkkomalliin, jonka jälkeen voisin kartoittaa sopivia hankkimisvaihtoehtoja kuristimelle.

2 KESKIJÄNNITEVERKKO JA SEN MAASULKUSUOJAUS

2.1 Suomen keskijänniteverkko

Suomessa keskijänniteverkon jännitetaso on normaalisti 20 kV. Joissakin kaupungeissa on myös 10 kV jännitetasoa. Keskijänniteverkko on joko sammutettu sammutuskuristimen kautta tai maasta erotettu. Suomen maaperän ominaisjohtavuus on pääsääntöisesti huono, jolloin erotinasemilla ja jakelumuuntamoilla käytettävien suojamaadoitusten maadoitusresistansseja on vaikea saada pieniksi, ne ovat tyypillisesti muutamia ohmeja tai kymmeniä ohmeja. Tästä johtuukin se, että Suomessa keskijänniteverkkoa käytetään maasta erotettuna. Maasta erotetussa verkossa maasulkuvirta on pieni, jolloin maadoitusjännitteet pysyvät kohtuuden rajoissa ja sähköturvallisuussäännösten asettamat vaatimukset voidaan täyttää. (Lakervi & Partanen 2008, 125)

Yhdessä 110 kV:n johtojen ja sähköasemien kanssa keskijänniteverkko muodostaa kokonaisuutena toimivan jakelujärjestelmän. Keskijänniteverkolla on hyvin oleellinen vaikutus verkon käyttövarmuuteen. Sähkönkäyttäjien kokemista keskeytyksistä yli 90% on peräisin keskijänniteverkossa tapahtuvista vioista. Syitä keskeytyksiin ovat mm. maan kaivu, maan painuminen, sähköverkon komponenttien vikaantuminen, ukkonen, puiden kaatuminen sähkölinjojen päälle jne. Normaalin sähkönjakelutoiminnan lisäksi keskijänniteverkolla on keskeinen varayhteysrooli merkittävissä 110 kV johtojen ja sähköasemien vioissa. (Helsingin energian www-sivut 2011)

2.2 Maasulku

Maasulku on maan tai maan kanssa johtavassa yhteydessä olevan osan ja käyttömaadoittamattoman virtajohtimen välinen eristysvika. Se on keskijänniteverkossa avojohtoverkkojen yleisin vika. 90% maasuluista on ohimeneviä, joihin liittyy valokaari. Nämä ohimenevät viat selvitetään yleensä jälleenkytkentöjen avulla. (Mavikon www-sivut 2008)

Maasulkuvirta aiheuttaa hengenvaaraa maasulkukohtaan, tulipalonvaaraa maasulkuvirran lämpövaikutuksen takia ja ylijännitevaaraa maasulkuvalokaaren vaikutuksesta. Valokaarisähköiskusta selviytyminen on erittäin harvinaista ja palovammat vaikeita. (Päijät-Hämeen pelastuslaitoksen www-sivut 2011)

2.2.1 Maasulkuvirta

Kun maasulku syntyy, muodostuu vikavirtapiiri, jossa virta kulkee vikaantuneesta vaiheesta maahan. Tämä virta on maasulkuvirta. Maasulkuvirta kulkee vikakohdassa maahan ja sitä kautta johtojen maakapasitanssien sekä päämuuntajan tähtipisteen kautta sähköasemalle.

Suurimmillaan virta on vikakohdassa ja se pienenee lähestyttäessä johdon päitä, joissa se on nolla. Vikakohdan paikka verkossa ei käytännössä vaikuta vikavirran suuruuteen. Maasulkuvirta on täysin kapasitiivista, joten se on 90° jännitettä jäljessä. (Rouhiainen 2008, 10)

2.2.2 Maasulun aikaisia ilmiöitä

Maasta erotetussa verkossa maasulkuvirta on melko pieni, yleensä 5-100 A. Tämä virran suuruusluokka riippuu päämuuntajan perään kytkeytyneen galvaanisesti yhtenäisen verkon koosta. Maasulkuvirta, joka syntyy avojohdoista, on keskimäärin 0,067 A/km. Maakaapeleiden maakapasitanssit ovat paljon suuremmat ja niiden aikaansaama maasulkuvirta on riippuen kaapelityypistä 2 – 4,9 A/km.

Maasulkuvirta ja tähtipistejännite pienenevät vikaresistanssin kasvaessa. Kun mietitään tilanteita joissa vikaresistanssi voi olla lähellä verkon normaalitilan vuotoresistanssia, pienet arvot ovat ongelmallisia. Tällaisia tilanteita ovat esim. kuivan puun nojaaminen avojohtoon, jolloin vikaresistanssi voi olla 10-100 kΩ. Verkon kokonaispituuden kasvaessa maasulkuvirta kasvaa. Tähtipistejännite taas pienentyy vikaresistanssin kautta tapahtuvassa maasulussa verkon pituuden kasvaessa. Maasulkuvirta aiheuttaa maasulkupaikassa ns. maadoitusjännitteen, joka puolestaan aiheuttaa

ihmisen tai eläimen kosketeltavissa olevan ns. kosketusjännitteen. (Lakervi & Partanen 2008, 186)

2.2.3 Maasulkusuojaus ja sen toteuttaminen

Suomen olosuhteissa keskijänniteverkon maadoitustapana käytetään tähtipisteestään maasta erotettua verkkoa tai sammutettua verkkoa. Sammutetussa verkossa kytketään tähtipisteeseen induktanssi, jonka reaktanssi vastaa suurin piirtein verkon johtojen maakapasitanssien muodostamaa reaktanssia.

Tärkein syy maasta erotetun keskijänniteverkon käyttöön on huonoista maadoitusolosuhteista aiheutuva kosketusjänniteongelma. Vaihejohtimen valokaaresta tai kosketuksesta suojamaadoitettuun osaan maasulku aiheutuu usein. Kun näin tapahtuu, kosketusjännitteen suuruus riippuu maasulkuvirrasta ja suojamaadoituksen resistanssista. Kun sallittua kosketusjännitettä määritetään, pyritään arvoon, jolla vältetään sähköiskutilanteessa hengenvaarallisen sydänkammiovärinän syntyminen.

Maasulkusuojausta ei voida perustaa oikosulkusuojauksen tavoin ylivirtasuojien käyttöön maasta erotetussa verkossa. Vikavirta on yleensä pienempi kuin kuormitusvirta. Mahdollisia maasulun indikaattoreita on esim. perustaajuisen tähtipistejännitteen muutos, perustaajuisen vaihejännitteen muutos, perustaajuinen summavirta, virran ja jännitteen yliaallot, suurtaajuiset muutosvirrat jne.
Käytännön maasulkusuojaus toteutetaan maasulun suuntareleillä, jotka sijaitsevat yleensä sähköasemalla. Suojaus nojautuu maasulun aiheuttamaan vaihevirtojen epäsymmetriaan ja tähtipistejännitteen nousemiseen. Nollavirta, joka kuvaa virtaepäsymmetriaa, saadaan johtolähdön vaihevirtojen osoitinsummasta. Osoitinsumman muodostaa kolmen vaiheen virtamuuntajien summakytkentä tai kaapelivirtamuuntaja.

Sammutetussa verkossa vaihekulmasuuntareleen toiminnan ehtona on, että sekä virta, joka muodostuu pääosin sammutuskuristimen rinnalle kytkettävän resistanssin kautta kulkevasta muutaman ampeerin suuruisesta pätövirrasta, että tähtipistejännite ylittävät tietyt asetteluarvot. Verrattaessa maasta erotettua verkkoa, sammutettuun

verkkoon erona on se, että nollavirran ja negatiivisena otetun tähtipistejännitteen välinen kulmaero on enintään +/- Δ. Resonanssitilanteen läheisyyden takia vian aikainen kulmaero voi vaihdella melkoisesti. Tällöin sallittu toleranssi Δ on yleensä melko suuri, esim. 80°. Hyviä puolia vaihekulmasuuntareleessä on jännite-virta- ja kulmakriteerien riippumattomuus toisistaan sekä suuri herkkyys.

Maasulkusuojauksessa tarvittavat tiedot mitataan eri lähtöjen summavirroista jokaisen lähdön alkupäässä olevalla summavirtamuuntajalla. Sähköasemalla olevilla jännitemuuntajilla mitataan koko verkkoa koskeva nollapistejännite. (Lakervi & Partanen 2008, 190)

2.2.4 Suuren vikaimpedanssin kautta tapahtuvat maasulut

Joskus esiintyy verkossa tilanteita, joissa maasulku syntyy suuren vikaimpedanssin kautta, esim. kun päällystetty avojohto putoaa maahan, kuiva puu nojaa johtoon tai maasulku syntyy kuorman puolelta (avojohto katkeaa, syöttävä pää jää ilmaan ja kuorman puolelta johto putoaa maahan). Vikaresistanssi on tyypillisesti 10-100 Ω eikä vikojen havaitseminen tavanomaisilla maasulun suuntareleillä ole mahdollista, koska maasulkureleen asettelua herkäksi rajoittavat terveessäkin verkossa esiintyvät pienet epäsymmetriat. Tällaisten vikojen indikointia on tutkittu tiiviisti, mutta kaupallisia tuotteita ei toistaiseksi ole markkinoilla. Tästä johtuen päällystetyille avojohdoille pitäisi aina tehdä tarkastukset myrskyjen jälkeen, mikä on hieman rajoittanut niiden käyttöä. (Lakervi & Partanen 2008, 197)

2.2.5 Kaksoismaasulut

Kaksoismaasulussa on kaksi vaihetta maakosketuksessa. Se on vikatyyppinä kuten kaksoisoikosulku, sillä vikavirta kulkee osan matkasta maan kautta. Vikavirta on yleensä suuri (suuruusluokaltaan oikosulkuvirran tasoa), mutta tarkasti sitä on vaikea laskea. Vikavirta kulkee maassa yleensä hyvin johtavia kanavia (esim. vesijohtoputket, telekaapeleiden vaipat) pitkin. Varsinkin, jos maaperän johtavuus on huono

(esim. kalliomaasto) vikavirrat voivat aiheuttaa suuria vahinkoja kulkiessaan kaapeleiden vaipoissa.

Yleensä kaksoismaasulun laukaisu tapahtuu oikosulkusuojauksen toimesta, vikavirran ollessa riittävä suojauksen toimintaan. Normaalisti kaksoismaasulkuun johtava tilanne alkaa tyypillisenä yksivaiheisena maasulkuna. Maasulun aiheuttama jännitteennousu terveissä vaiheissa voi johtaa viallisen ylijännitesuojan virheelliseen toimintaan, jonka seurauksena on kaksoismaasulku. Kaksoismaasulkuja voidaan vähentää maasulkusuojauksen nopealla ja varmalla toiminnalla sekä pitämällä verkossa olevat ylijännitesuojat kunnossa. (Lakervi & Partanen 2008, 198)

3 MAASULKUVIRRAN KOMPENSOINTI

Tarve maasulkuvirran kompensointiin tulee usein verkon laajentuessa verkkoa maakaapeliksi saneerattaessa. Tällöin maasulun aiheuttama vikavirta kasvaa ja sähköturvallisuusstandardien määrittelemät kosketusjännitteet mahdollisesti ylittyvät. Tarkoituksena maasulun kompensoinnilla on kumota verkon maakasitanssit yhtä suurella induktanssilla ja näin ollen rajoittaa maasulkuvirta lähelle nollaa.

3.1 Keskitetty kompensointi

Kun maasulkuvirtaa kompensoidaan, se tehdään erillisillä kompensointilaitteilla, jotka voidaan asentaa joko johtolähdöille hajautetusti tai sähköasemalle keskitettynä kompensointina. Jälkimmäisessä vaihtoehdossa sammutuskuristin asennetaan sähköasemalle kaikkine apulaitteineen. Keskitetty kompensointi toteutetaan joko säädettävällä tai kiinteällä kuristimella. Kuristimia on saatavilla useita eri standardikokoja sekä kohdetta varten räätälöityinä ratkaisuina. (Rouhiainen 2008, 26)

3.2 Hajautettu kompensointi

Hajautettu kompensointi toteutetaan asentamalla johtolähdöille tarvittava määrä maadoitusmuuntajia hajautetusti. Tätä systeemiä käytetään yleensä hajaasutusalueilla ja pitkillä johtolähdöillä. Yleisesti maadoitusmuuntajat ovat suuruudeltaan 5 A tai 10 A. Muuntajan arvosta näkee, kuinka suurta vikavirtaa voidaan ko. laitteella kompensoida. Näin saavutetaan edullinen kompensointiratkaisu, mutta kompensoimattomat jäännösvirrat ovat hieman korkeampia kuin keskitetyissä ratkaisussa. (Rouhiainen 2008, 28)

3.3 Kompensointilaitteisto

3.3.1 Maadoitusmuuntaja

On varsin yleistä, että 110/20 kV muuntajat ovat kytkentäryhmältään YNd11. Tällöin muuntajan toision ollessa kolmioon kytkettynä, tähtipiste puuttuu kokonaan ja sammutuskuristinta ei voida asentaa. Tämä ongelma ratkaistiin YNyn0 kytketyillä muuntajilla, mutta tällaisia muuntajia ei ole mahdollista käyttää rinnan YNd11-kytkentäryhmien muuntajien kanssa. YNd11 kytketystä muuntajasta saadaan keinotekoinen tähtipiste ZN kytketyn maadoitusmuuntajan avulla. Rakenteeltaan maadoitusmuuntaja on aivan tavanomaisen jännitemuuntajan kaltainen. Ainoa ero on nollapisteen ulosotto. Nimellisvirta maadoitusmuuntajassa mitoitetaan niin, että se on 1/3 kuristimen nimellisvirrasta. Muuntajan ja kuristimen tehot ovat tällöin yhtä suuret.

Yleisesti maadoitusmuuntaja varustetaan omakäyttökäämillä. Näin voidaan välttää kätevästi omakäyttömuuntajan hankinta. Myös yksi lähtökenttä säästetään sähköasemalla omakäyttökäämin ansiosta. Kuristimen ja muuntajan tähtipisteen väliin sijoitetaan erotin, jonka avulla kuristinta voidaan huoltaa ilman, että sähköasemalta katkeaa omakäyttöjännite. Tässä tapauksessa erottimen asennosta tulee tulla apukosketintieto suuntareleille. Rele mittaa maasulkuvirran pätökomponenttia, sammutuskuristimen ollessa verkkoon kytkettynä. Jakeluverkon ollessa maasta erotettu, mittaa rele maasulkuvirran loiskomponenttia. (Isomäki 2010, 23)

3.3.2 Sammutuskuristin

Sammutuskuristin (myös kompensointikuristin) on rakenteeltaan rautasydäminen ja yleensä öljyeristeinen. Sydän voi olla joko uppo- tai liukusydäminen, kuristimen säätötavan mukaisesti. Jatkuvasäätöisen sammutuskuristimen induktanssin eli käytännössä maasulkuvirran, jota kompensoidaan, määrää säädetään magneettipiirin ilmaväliä säätämällä. Automaattisäätäjän ohjaaman moottoriohjaimen avulla liikutetaan rautasydämen osaa, joka muuttaa ilmaväliä. Virransäätöalue upposydämisellä kuris-

timella on välillä 10-100 %, ja niitä valmistetaan laajemmalle tehoalueelle kuin liukusydämisiä kuristimia. Liukusydämisten kuristimien hyvä puoli on se, että ne ovat hieman halvempia yksinkertaisen rakenteensa ansiosta, mutta toisaalta niiden säätöalue on 20-100 % eli kapeampi kuin upposydämisellä kuristimella ja niitä valmistetaan vain 1000 kVAr:n tehoon saakka.

Pätökomponentin arvo sammutuskuristimessa riippuu kuristimen tyypistä, säätöalueesta, nimellisvirrasta ja siitä, onko kuristin mitoitettu jatkuvalle vai lyhytaikaiselle käytölle. Jatkuva-aikaiselle käytölle mitoitetun kuristimen häviöt ovat yleensä pienemmät kuin lyhytaikaiselle käytölle mitoitetun. Pätökomponentin arvo suuruusluokaltaan on noin 2-5 % induktiivisen virran suuruudesta. (Tella 2007, 46)

3.3.3 Sammutuskuristimen säätäjä

Kuristimen säätäjän tehtävänä on muuttaa sammutuskuristimen induktanssia, jotta verkon kompensointi saataisiin viritettyä mahdollisimman tarkasti haluttuun pisteeseen. Esim. EFC20 (kuristimen säätäjä) määrittää resonanssipisteen siten, että se säätää kuristimen induktanssia ylös- tai alaspäin kunnes resonanssipiste on ylitetty. (EFC20-säätäjän www-sivut)

Säätäjän toiminta perustuu verkon terveen tilan nollajännitteen seuraamiseen. Kun kuristimen induktiivinen reaktanssi ja jakeluverkon maakapasitanssien reaktanssit ovat yhtä suuret, nollajännite saavuttaa suurimman arvon. Kun reaktanssit ovat yhtä suuret, voidaan sanoa että sammutuskuristin on viritetty. Kun tapahtuu nollajännitteen muutos, siitä seuraa resonanssipisteen muutos, jonka säätäjä huomaa. Jos muutos on säätäjän aseteltua rajaa korkeampi, antaa säätäjä ohjauskäskyn sammutuskuristimen moottorille. (Isomäki 2010, 25)

3.3.4 Rinnakkaisvastus

Sammutuskuristin pystyy kompensoimaan kapasitiivisen maasulkuvirran, mutta jäännösvirtaa se ei pysty. Jäännösvirta koostuu verkon häviöistä sekä kuristimen omista pätöhäviöistä ja sitä käytetään hyväksi, kun pyritään selektiivisesti irrottamaan vikaantunut johtolähtö. Koska jäännösvirran suuruus riippuu monesta tekijästä, tietyissä vikatilanteissa joudutaan keinotekoisesti suurentamaan jäännösvirtaa, jotta releet laukaisisivat oikean johtolähdön irti verkosta. Tämä toteutetaan siten, että sammutuskuristimen rinnalle sammutuslaitteiston tehokäämiin kytketään vastus, joka kasvattaa releen mittaamaa pätövirtaa. (Isomäki 2010, 26)

3.4 Kompensoinnin edut ja haitat

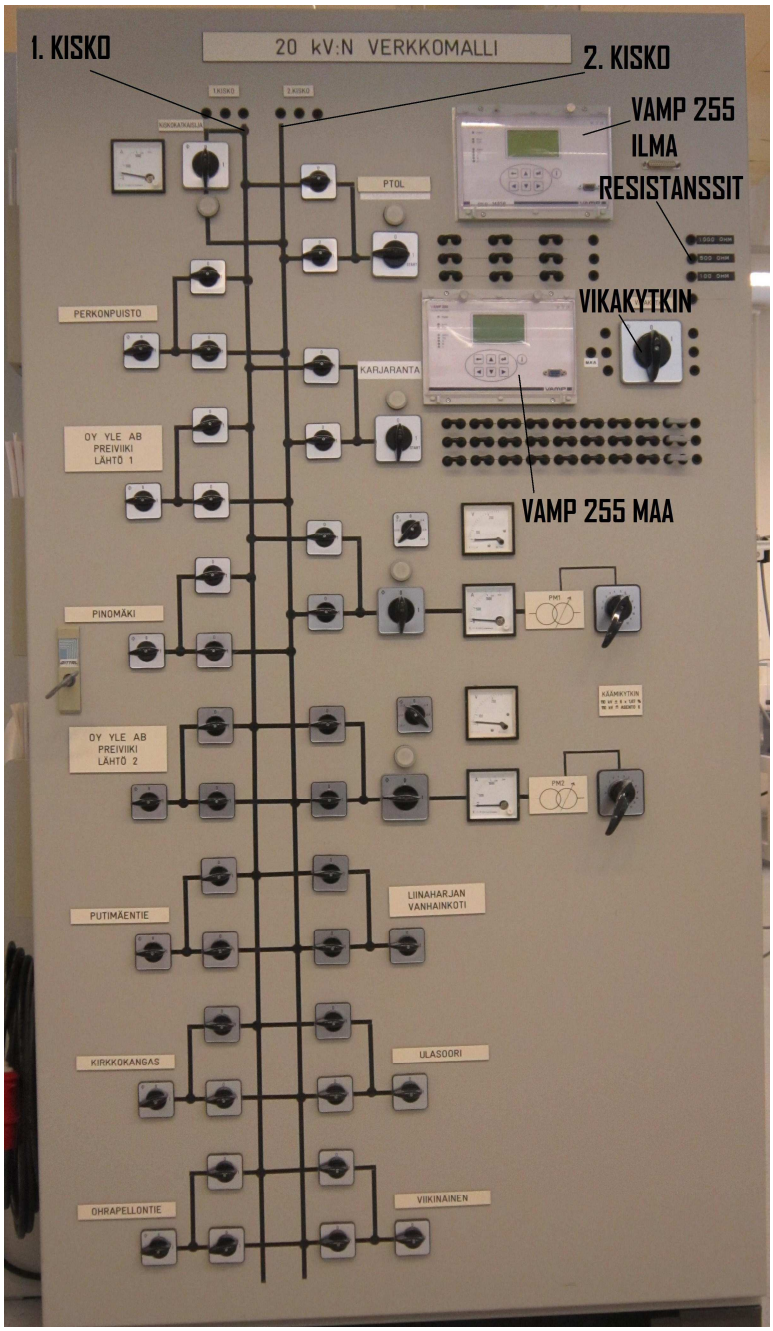
Kompensoinnilla saavutetaan muitakin etuja, maasulkuvirran kompensoimisen lisäksi. Esim. avojohtoverkoissa esiintyvät valokaaret sammuvat itsestään jännitteen nollakohdan yhteydessä, pikajälleenkytkentöjen määrä vähenee 90 % jolloin katkaisijoiden huollon tarve vähenee, maasulkuvalokaaren aiheuttamat laite-, johdin- ja eristinvauriot jäävät vähäisiksi. Myös yksivaiheisten maasulkujen kehittyminen oikosuluksi vähenee.

Kompensoinnin haittoihin sisältyy mm. se, että terveessä tilassa tähtipistejännite voi nousta erittäin suureksi, jolloin vaarana on maasulkusuojauksen havahtuminen aiheettomasti. Myös suuri-impedanssisten vikojen havainnointi heikkenee, koska vian aiheuttama suhteellinen nollajännitteen muutos pienenee. Hankintakustannuksiltaan kompensoitu verkko on myös paljon kalliimpi kuin maasta erotettu verkko. (Isomäki 2010, 28)

4 VERKKOMALLIN VERTAAMINEN VÄHÄRAUMAN SÄHKÖASEMAN VERKKOON

4.1 Verkkomallista

Sähkölaboratoriossa sijaitseva 20 kilovoltin verkkomalli on Oy Strömberg Ab:n tekemä laite. Se on valmistunut vuonna 1977, mutta sähköpiirrustukset siihen on tehty vasta vuonna 1992. Se on malli Vähärauman sähköaseman verkosta ja sen jännite on 200 V, mutta se on kerrottuna sisäisesti 100-kertaisena, jotta se vastaisi oikeata sähköverkkoa. Verkkomalli on varustettu kahdella VAMP 255 suojareleellä. Toinen on liitetty maakaapeli- ja toinen ilmajohtolähtöihin.



KUVA 1. Verkkomallin etupaneeli.

4.1.1 VAMP 255

VAMP 255 on suojarele, jota käytetään sähkölaitoksilla ja teollisuudessa sähkönjakeluverkon suojaamiseksi. Sen tarkoituksena on minimoida vikatilanteessa aiheutuvat kustannukset, jotka tilanteesta riippuen voivat olla hyvinkin suuret. Vikatilanteen ilmetessä suojarele huomaa sen ja antaa käskyn laitteen/kohteen sulkemiseksi pois järjestelmästä. Tekniikka on nykyään edennyt niin pitkälle, että suojareleet ovat ohjelmistopohjaisia elektroniikkalaitteita ja sisältävät erittäin monipuolisia suojaustoimintoja. Näiden suojareleiden avulla suoritetaan verkkomallin maa- ja oikosulkumittaukset.

KUVA 2. Releen näyttö.

4.2 Vähärauman sähköasemasta

Vähärauman sähköasemalta hoidetaan Porin kaupungin sähkön pääjakelu. Aseman piiriin kuuluu n. 7000 taloutta ja sen 20kV sähköverkko kattaa miltei koko Porin kokonaisuudessaan. Vähärauman aseman sähköverkkoa ylläpitää Pori Energia Oy.

4.2.1 Maasulkuvirrat sähköasemalla

Vähärauman sähköasemaan tehtiin kesällä 2011 maasulkulaskennat (taulukko 1), maasta erotettuna ilman kuristinta.

TAULUKKO 1. Maasulkulaskentojen tulokset

Muuntaja PM 1		**Vastus (Ω)**
Mitoitusjännite (kV)	21	
Tähtipisteen maadoittamistapa	Maasta erotettu	
Optimaalinen sammutuskur. Ind. (mH)	578,33	
Pienin tähtipistejännite (kV)	4,3(34%)	
Maasulkuvirta 1 (A)	69,9	0
Maasulkuvirta 2 (A)	23,9	500
Muuntaja PM 2		
Mitoitusjännite (kV)	21	
Tähtipisteen maadoittamistapa	Maasta erotettu	
Optimaalinen sammutuskur. ind. (mH)	335,63	
Pienin tähtipistejännite (kV)	2,6 (21%)	
Maasulkuvirta 1 (A)	120,5	0
Maasulkuvirta 2 (A)	24,9	500

Tilastollista tietoa maasuluista ei ollut saatavissa, koska järjestelmä josta tilastoja saadaan oli otettu käyttöön vasta keväällä 2011. (Mettälä sähköposti 10.6.2011)

4.2.2 Sähköaseman sammutuskuristimet

Talvella 2011 Vähärauman asemalle otettiin käyttöön sammutuskuristimet molemmille kiskoille. Kuristimet on kytketty kiskoon erillisen tähtipistemuuntajan kautta. Ne ovat molemmat Trench:in valmistamia ja varustettu EFC20 säätäjillä. Maasulkuvirran säätöalue laitteilla on 38-338 A. (Mettälä sähköposti 10.6.2011)

4.3 Verkkomallin päivitysmahdollisuuksia

Koska verkkomalli on vuodelta 1992, on sen päivitys jo pikku hiljaa ajankohtaista, jotta se vastaisi Vähärauman sähköaseman nykyistä tilannetta. Pori Energian Oy:n työntekijä Jani Mettälällä oli muutamia päivitysehdotuksia: esim. verkkomallin lähdöille sähköiset arvot voitaisiin muuttaa vastaamaan Vähärauman verkon tämän hetkisiä arvoja. Vähärauman sähköaseman reaktanssi on 287,13 Ω kun taas verkkomallissa vastaava arvo on 361,88 Ω. Eli reaktanssin arvossa olisi jonkun verran muutettavaa. Myös taustaverkko olisi hyvä saada vastaamaan Vähärauman nykyistä tilannetta. Verkkomallin ulkonäköön on turha puuttua, koska se on sinänsä riittävän tarkka kuvaus Vähärauman verkosta. Näillä muutoksilla verkkomallista saisi laboratoriotöitä tehdessä erittäin hyvän kuvan oikean sähköverkon maasulku- ja oikosulkuvirroista. (Mettälä henkilökohtainen tiedonanto 26.9.2011)

5 MITTAUKSET

5.1 Kokonaiskapasitanssi

Mittasin verkkomallista kokonaiskapasitanssin, jotta voisin verrata tuloksiani jo olemassa oleviin kapasitanssi-arvoihin. Kyseistä arvoa tarvitaan myös tulevissa laskuissa. Mittaukset suoritin Megger LCR 131 component tester-laitteella, joka on tarkoitettu resistanssin, induktanssin ja kapasitanssin mittauksiin.

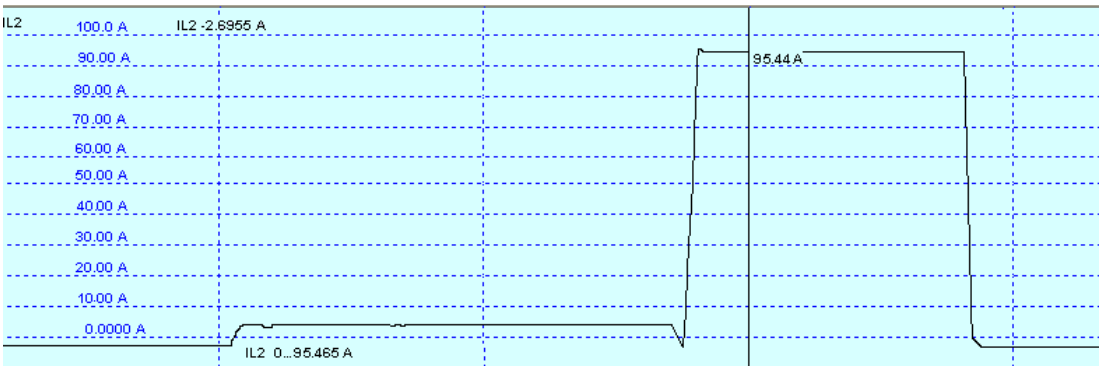
TAULUKKO 2. Mittaustulokset.

Kondensaattori	**Vanha arvo (nF)**	**Uusi arvo (nF)**
C1	156,8	157,3
C2	160	159,3
C3	270	268,9
C4	150	149,1
C5	136	134,7
C6	180	185
C7	156,8	156
C8	115	114,7
C9	197	204,8
C10	180	185,9
C11	27	26,2
C12	1,33	1,69
C13	1820	1750
C14	470	409
C15	440	403
C16	1680	1660
C17	288	250
C18	820	770
C19	390	340,5
C20	390	350
C21	390	350
C22	762	770
Kok. kapasitanssi	**9179,93**	**8796,09**

Kuten tuloksista (Taulukko 1) näkyy vanha kokonaiskapasitanssin arvo (mitattu v.1992), on hieman korkeampi verrattuna mittaamaani arvoon. Todennäköisesti kondensaattoreiden C1-C22 arvot ovat laskeneet iän myötä. Toisaalta nämä kondensaattorit ovat muovikalvokondensaattoreita (polykarbonaatti, polyesteri, polypropaani), joista polyesterikondensaattoreiden kapasitanssiarvot eivät ole kovin tarkkoja.

5.2 Maasulkuvirta

Mittasin verkkomallista maasulkuvirran, jotta voisin verrata sitä laskettuun arvoon. Mittauksen suoritin verkkomallissa kiinni olevalla VAMP 255 suojareleellä, ja maasulun aiheutin kytkemällä kakkosvaiheen IL2 suoraan maahan. Suojareleeltä keräsin tiedot tietokoneelle käyttäen VAMPSET ohjelmaa. Relettä olisi mahdollista käyttää myös paikallisesti, suoraan releen etupaneelista.



KUVA 3. Maasulkuvirran hetkellisarvo.

Verkkomallista löytyvää vikavirtakytkintä käyttäen aiheutin maasulun ja tiedot tulivat tietokoneen ruudulle. Maasulkuvirran hetkellisarvoksi tuli 95,44 A (Kuva 3).

6 LASKUT

6.1 Reaktanssi

Kokonaiskapasitanssiksi sain mittauksesta: 8796 nF = 8796×10^{-9} F

Kapasitiivisen reaktanssin kaava: $Xc = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times C}$

$$Xc = \frac{1}{2 \times \pi \times 50Hz \times 8796 \times 10^{-9} F} = 361{,}88\ \Omega$$

Kokonaisreaktanssiksi tuli 361,88 Ω, josta vaihereaktanssi: $Xcv = \frac{361{,}88\Omega}{3} = 120{,}6\Omega$

6.2 Maasulkuvirta

Maasulkuvirta saadaan laskettua jakamalla verkon vaihejännite vaihereaktanssilla:

$$Ie = \frac{Uv}{Xcv}$$

$$Ie = \frac{11547\ V}{120{,}6\Omega} = 95{,}75\ A$$

6.3 Sammutuskuristimen arvo

Induktanssilla kompensoidaan maakapasitanssit, jotta maasulkuvirta olisi lähellä nollaa, joten Xlv = Xcv.

Induktiivisen reaktanssin kaava: $Xlv = 2 \times \pi \times f \times L$

$$L = \frac{Xlv}{2 \times \pi \times f}$$

$$L = \frac{120{,}6\ \Omega}{2 \times \pi \times 50\ \text{Hz}} = 0{,}384\ \text{H}$$

6.4 Kaapelin pituuden määrittäminen

Maasulkuvirrasta saadaan määritettyä myös 20 kV kaapelin pituus. Yleisesti käytetty kaapeli 20 kV:n verkossa on AHXAMK-W, jonka poikkipinta-alaksi valitsin 120 mm^2. Kyseisen kaapelin maasulkuvirta on 2,4 A/km. Tästä saadaankin laskettua kaapelin pituus: $\frac{95{,}75\ \text{A}}{2{,}4\ \text{A/km}} = 39{,}9$ km. (ABB TTT-käsikirja 2000, 3)

6.5 Tulokset

Maasulkuvirraksi sain tuloksen 95,75 A (mitattu arvo oli 95,44 A), josta määritin vielä johdonpituuden 39,9 km. Sammutuskuristimen arvoksi sain 384 mH, joka vaikuttaa ihan realistiselta arvolta.

7 SAMMUTUSKURISTIMEN HANKINTAVAIHTOEHDOT

7.1 Hankintaan vaikuttavat seikat

Sammutuskuristinta hankittaessa on syytä kiinnittää muutamiin asioihin huomiota. Kuristimen mitoitus on tietysti tärkein, eli millainen virta-alue laitteella tulee olla. Myös se, onko kuristimen käyttöaika vaihteleva vai jatkuva vaikuttaa valintaan. Muita seikkoja on esim. maasulkuvirran kasvaminen kaapeloinnilla, kuristimen irtikytkeminen kaukokäytön kautta ja tausta-asetteluiden käyttömahdollisuus. (Mavikon www-sivut 2008)

Verkkomallia mietittäessä oleellisia seikkoja on virta-alue, joka täytyy ainakin kattaa 95 A ja se, että kuristimen käyttöaika ei ole jatkuva vaan sitä käytetään silloin tällöin muutaman tunnin ajan laboratorio-töissä. Vaikeinta kuristimen hankinnassa tulee olemaan se, että verkkomallin käyttöjännite on vain 200 V eikä 20 kV. Eli kuristimen tulee olla paljon pienempi kuin sähköasemilta löytyvät kuristimet, mutta silti sen tulee kestää samansuuruisia virtoja.

7.2 Trafotek Oy

Trafotek Oy on maailmanlaajuisesti toimiva tehomuuntajien, kuristimien ja induktiivisten erikoistuotteiden toimittaja. Yhtiö tarjoaa tuotteensa yksilöllisesti ja tapauskohtaisesti asiakkaalle räätälöitynä.

Trafotekin tuotteet ovat pääsääntöisesti matala- keskijännitteisiä ja niiden mekaaniset ratkaisut ovat aina asiakkaan tarpeen mukaan räätälöityjä. Kuristimia valmistetaan 4000 ampeeriin saakka (suuremmatkin virrat ovat mahdollisia) ja ne ovat joko rauta- tai ilmasydämisiä. Kuristimien häiriötön toiminta on varmennettu jo suunnittelu- ja tuotantovaiheessa laittamalla ne vastaamaan kansainvälisiä standardeja. Kaikki Trafotekin tuotteet suunnitellaan ja valmistetaan lämpöluokkaan F tai H sekä tarvittaessa kotelointiluokkaan IP 00 – IP 55. Tuotteisiin saa myös lisävarusteita kuten pyörät,

sähköiset ja termiset suojaukset jne. Kuristimien johdinmateriaalina käytetään kuparilankaa tai Al/Cu-foliota. Heidän tuotteensa käy myös läpi tyhjöhartsausprosessin, jossa paranevat niiden mekaaniset ja sähköiset ominaisuudet. Tämän lisäksi kuristimet testataan ennen toimitusta. (Trafotek Oy:n www-sivut)

7.3 Trafomic Oy

Vuonna 1983 perustettu raisiolainen yritys nimeltään Trafomic Oy suunnittelee sähköteknisiä ratkaisuja ja valmistaa sähkökomponentteja. Heidän palveluihinsa kuuluu myös konsultointi tuotannon siirtämisessä ulkomaille, pikatoimitukset kaikkialle maailmaan sekä toiminnan sujuvuuden varmistava backup- palvelu. Tuotteet toimitetaan alihankkija- ja toimittajaverkoston kautta nopeasti kaikkialle. Trafomicin tuotteisiin kuuluu erilaiset muuntajat, kuristimet, teholähteet ja filtterit. (Trafomic Oy:n www-sivut)

Trafomiciltä tiedustellessamme verkkomalliin sopivaa kuristinta he vastasivat, että kuristin tulisi olemaan suurenlainen. Pakkatehoa laitteelta löytyisi suhteellisen paljon ja sen sijoituspaikaksi tulisi N ja PE välille. Vastaavanlaisten kuristimien menekki ei ilmeisesti hirveän suuri ole, mutta tällaisenkin kuristimen valmistaminen heiltä kuulemma onnistuu. (Saranki sähköposti 8.12.2011)

7.4 Hankintavaihtoehdot

Aloittaessani kuristimen hankintavaihtoehtojen kartoittamisen törmäsin tylyyn tosiasiaan, ettei Suomesta löydy kovinkaan monta yhtiötä, jotka olisivat erikoistuneet kuristimien valmistamiseen. Jos kuristimen jännite olisi ollut 20 kV tarina olisi ollut hieman erilainen. Yhtiöitä olisi löytynyt edes muutamia enemmän. 200 V jännitteellä ei löytynyt kuin nämä kaksi varteenotettavaa vaihtoehtoa.

Trafotek Oy vaikutti alkuun oikein hyvältä ja sopivalta paikalta tilata verkkomalliin sopiva kuristin. Tuotteita löytyy pieni- ja keskijännitteisinä, kuristimen virrat yltää 4000 A saakka ja muutenkin heidän toimintansa vaikutti asialliselta tuotteen testauksia ja toimituksia myöten. Heiltä tiedustellessani kuristimista en kuitenkaan saanut

minkäänlaista vastausta, joten en täydellä varmuudella voi väittää, että heiltä sopiva kuristin löytyisi.

Vastaavalla tavalla Trafomic Oy tuntui varsin pätevältä yhtiöltä, josta löytyisi osaamista sopivan kuristimen valmistamiseen. Heiltä myös saisi tuotteen verkkomallille räätälöitynä. He vastasivat tiedusteluihin ja vastauksien perusteella heiltä ko. kuristimen valmistaminen myös onnistuisi. Eli jos itse lähtisin näistä kahdesta valitsemaan, valitsisin ehdottomasti Trafomicin.

8 YHTEENVETO

Työn tekemisen aloitin verkkomallin piirikaavion (liitteet 1-8) piirtämisellä Cads-ohjelmalla, mikä ehkä loppujen lopuksi olikin suurin haaste työssäni tai ainakin työläin. Tämän jälkeen suoritin mittaukset ja laskut, joista maasulkuvirran mittauksissa oli eniten ongelmia, mutta aikani tahkottua sain kuin sainkin tyydyttävän mittaustuloksen. Laskut olivat sen verran yksinkertaisia, että ne sujuivat ongelmitta. Teorian kirjoittamisessa suurin ongelma oli lähdemateriaalin löytäminen, mutta aikani etsittyä alkoi tulosta syntymään. Teoriaosuudesta suoriuduttuani vertailin verkkomallia Vähärauman sähköaseman verkkoon ja etsin kuristimen eri hankintavaihtoehdot, joista jälkimmäisessä tuli ongelmia jännitteen ollessa niin pieni. Työn tulokset vaikuttivat kaiken kaikkiaan varsin luotettavilta ja itse olen niihin kovin tyytyväinen.

Seuraava vaihe tässä projektissa olisi verkkomallin arvojen muuttaminen vastaamaan Vähärauman aseman arvoja ja kuristimen hankinta ja testaus jne. Tästä saisi varmasti jollekin pätevälle tulevaisuuden insinöörille hyvän opinnäytetyön aiheen.

LÄHTEET

ABB:n TTT-käsikirjan www-sivut. Viitattu 18.10.2011
http://heikki.pp.fi/abb/080_0007.pdf

Autio, K. Sammutuskuristimen hinnasta. Vastaanottaja: kimmo.autio@maviko.fi Lähetetty 5.9.2011 klo 15:13 Viitattu 28.9.2011.

Earth fault compensation controller EFC20/EFC20i:n www-sivut. Viitattu 1.6.2011
http://www.maviko.fi/files/stjn_efc20_esite.pdf

Helsingin energian www-sivut. Viitattu 23.5.2011
http://www.helen.fi/slj/sv_keskeytykset.html

Isomäki, R. 2010. Sammutetun keskijänniteverkon kompensointilaitteiston lisävastuksen ohjaus. AMK-opinnäytetyö. Vaasan ammattikorkeakoulu. Viitattu 24.5.2011.
https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/16790/Isomaki_Rami.pdf?sequence=1

Lakervi, E & Partanen, J. 2008. Sähkönjakelutekniikka. Helsinki:Otatieto.

Mavikon www-sivut. Viitattu 28.9.2011. http://www.maviko.fi/etusivu/

Mettälä, J. Kysymyksiä vähärauman sähköverkosta. Vastaanottaja: Jani.Mettala@porienergia.fi. Lähetetty 10.6.2011 klo 8:48. Viitattu 20.9.2011.

Mettälä, J. 2011. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Pori. Puhelinhaastattelu 26.9.2011.

Päijät-Hämeen pelastuslaitoksen www-sivut. Viitattu 23.5.2011.
http://www.phpela.fi/fi/etusivu

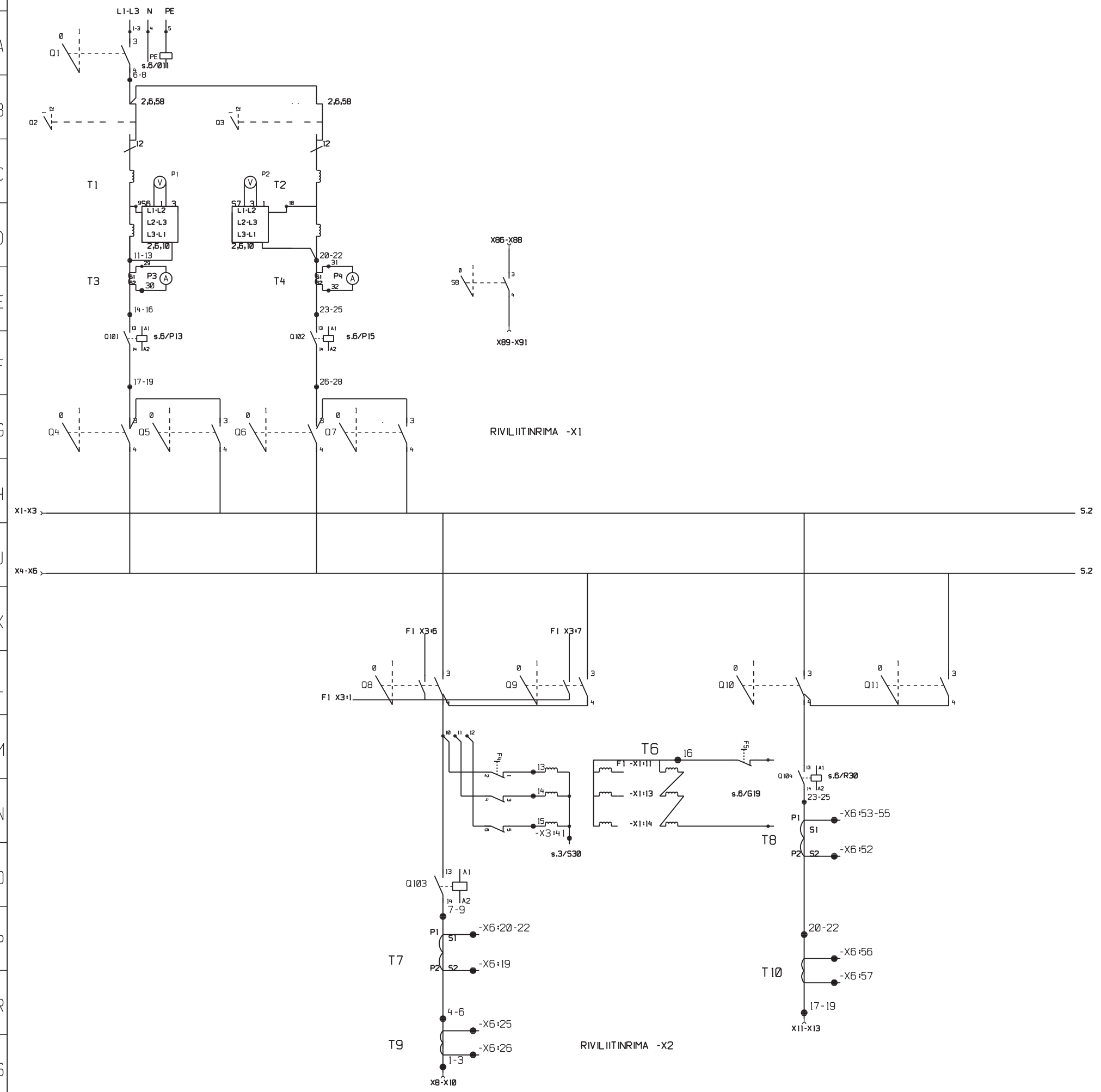
Rouhiainen, J. 2008. Maasulkuvirtojen kehitys ja kompensointi haminan energia oy:n keskijänniteverkossa. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Viitattu 23.5.2011.
http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/42480/nbnfi-fe200810152007.pdf?sequence=3

Saranki J. Sammutuskuristin. Vastaanottaja: juha.saranki@trafomic.fi. Lähetetty 8.12.2011 klo 16.02. Viitattu 12.12.2011.

Tella, M. 2007. Sähköverkkoyhtiön keskijänniteverkon kehittämissuunnitelma. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Viitattu 24.5.2011.
http://www.lut.fi/fi/technology/lutenergy/electrical_engineering/research/electricitymarkets/publications/Documents/Diplomity%C3%B6t/Tella_Dtyo.pdf

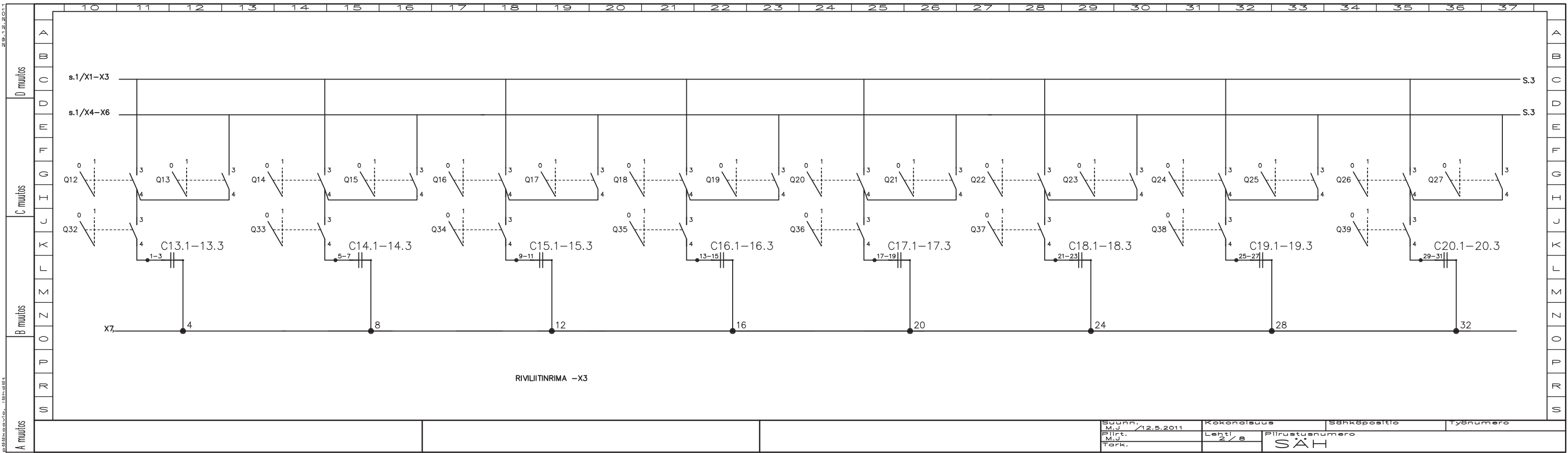
Trafomic Oy:n www-sivut. Viitattu 8.12.2011. http://www.trafomic.fi/

Trafotek Oy:n www-sivut. Viitattu 8.12.2011. http://trafotek.fi/



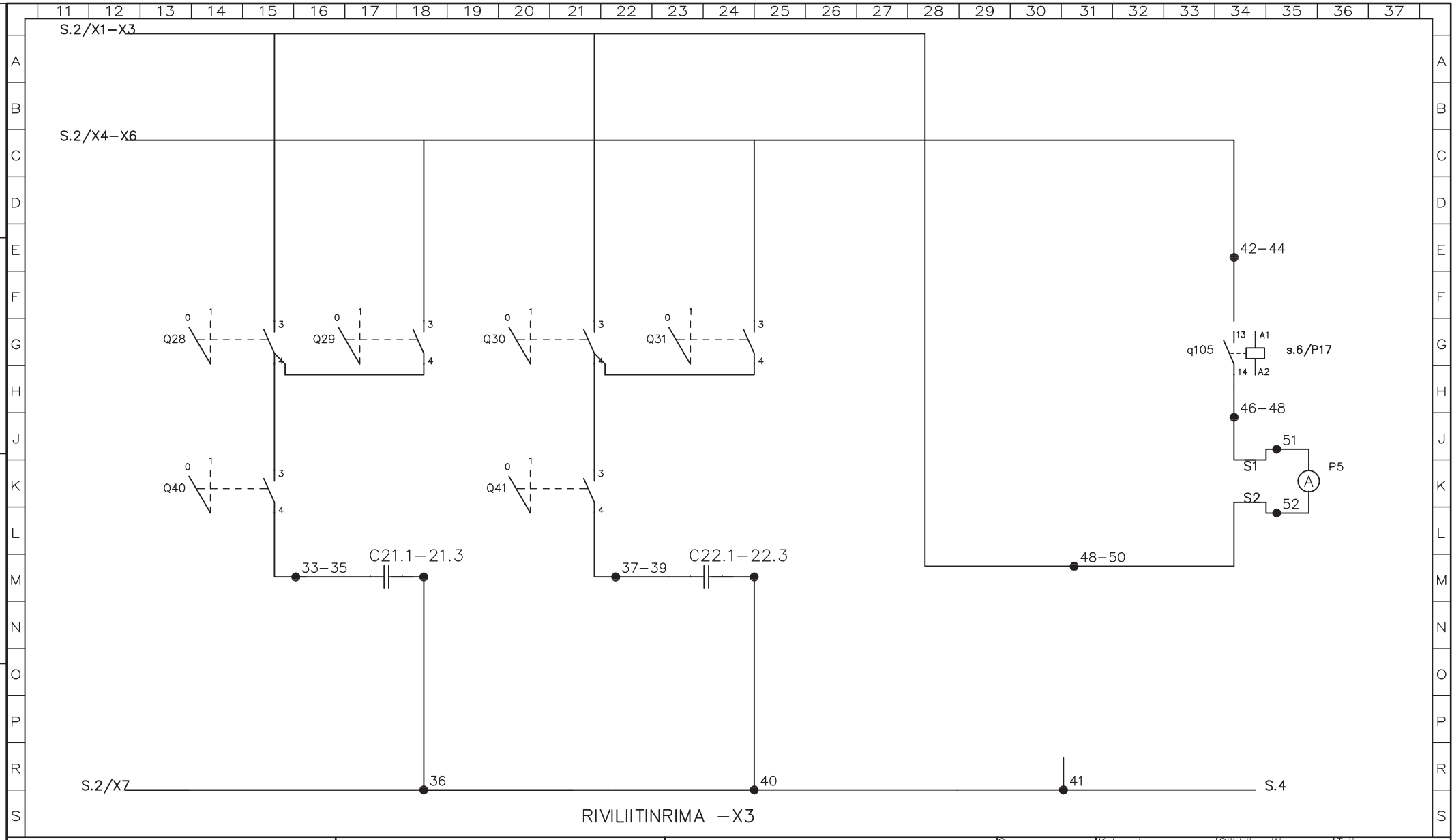
Suunn. M.J /12.5.2011	Kokonaisuus	Sähköpositio	Työnumero
Piirt. M.J	Lehti 1/8	Piirustusnumero SÄH	
Tark.			

D muutos
C muutos
B muutos
A muutos



Suunn. M.J /12.5.2011	Kokonaisuus	Sähköpositio	Työnumero
Piirt. M.J	Lehti 2/8	Piirustusnumero SÄH	
Tark.			

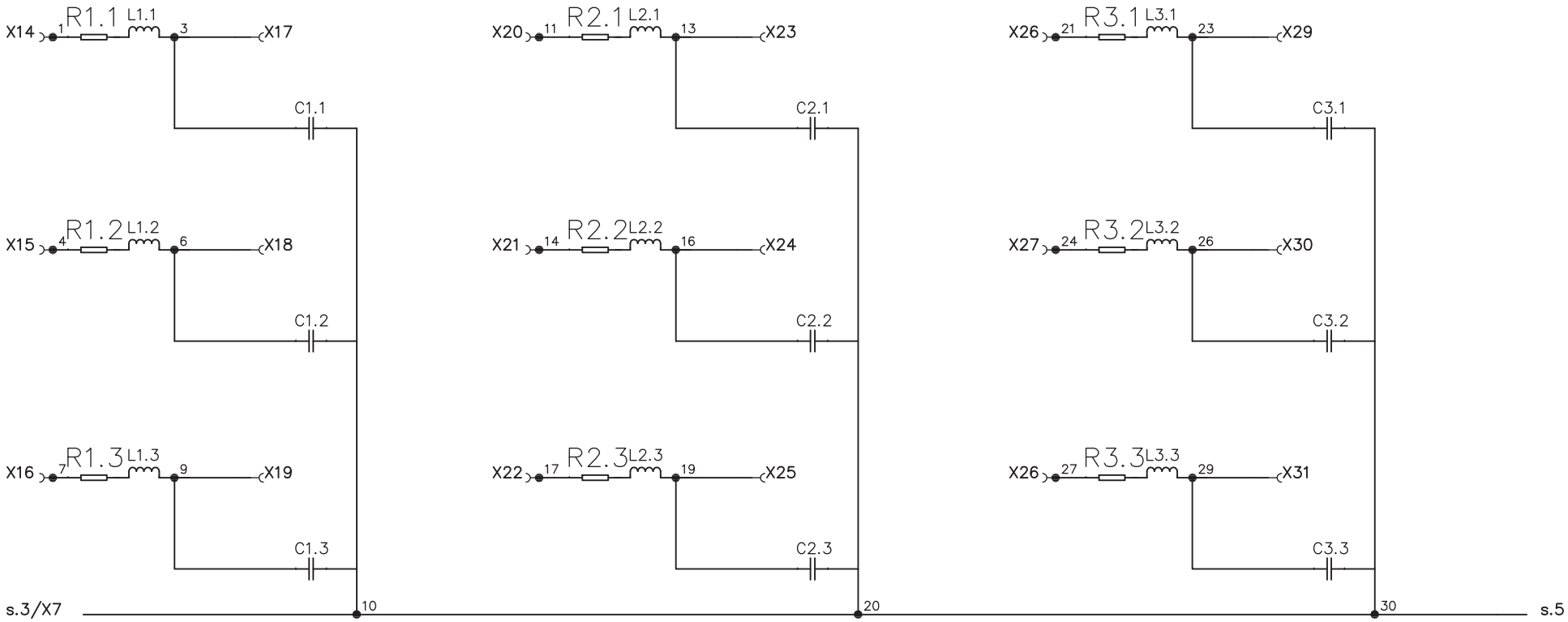
D muutos
C muutos
B muutos
A muutos



Suunn. M.J /12.5.2011	Kokonaisuus	Sähköpositio	Työnumero		
Piirt. M.J	Lehti 3/8	Piirustusnumero SÄH			
Tark.					

D muutos
E muutos
F muutos
A muutos
B muutos
C muutos

29.12.2011
sähkökaavio.lähdöt.koppu



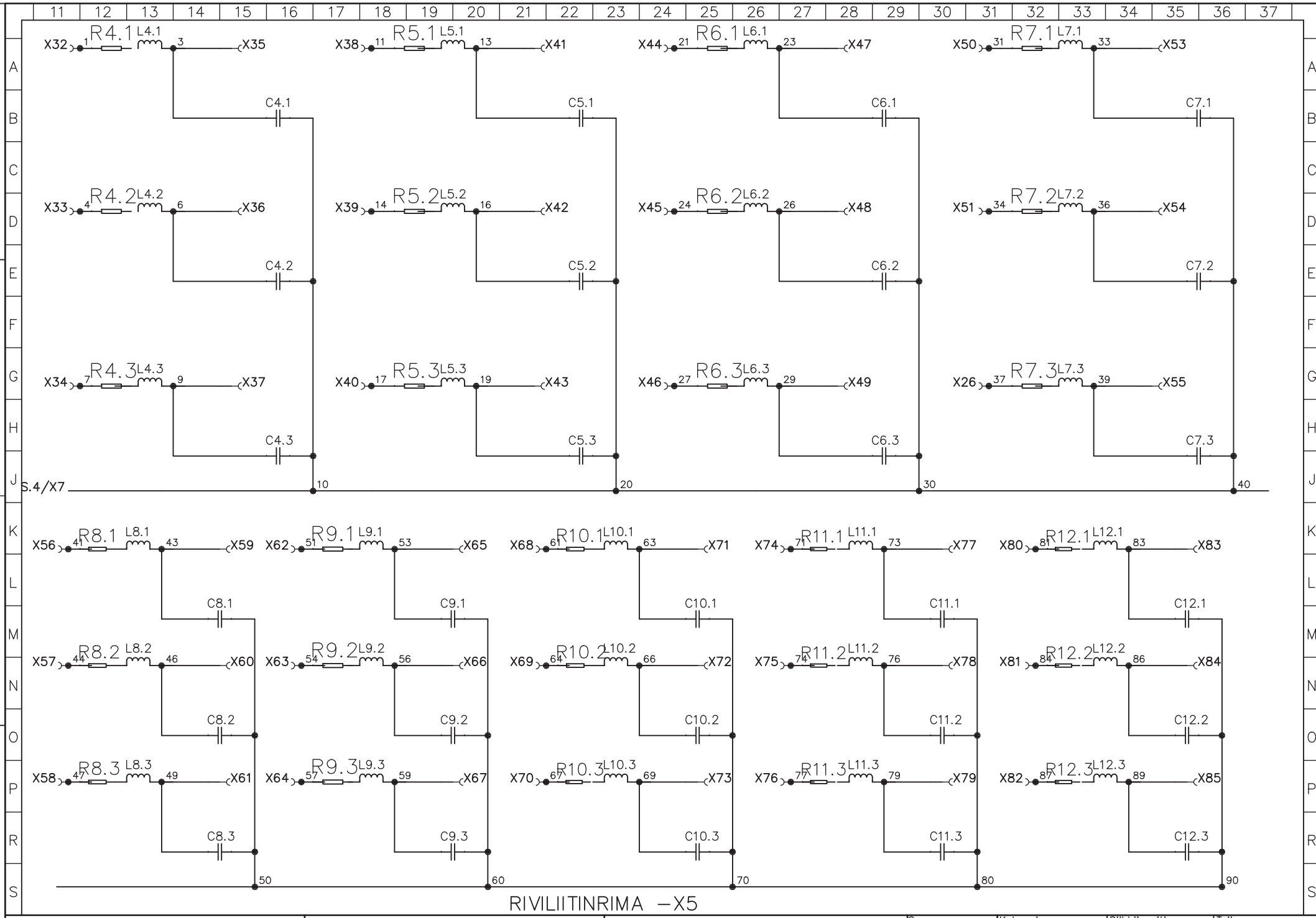
RIVILIITINRIMA –X4

Suunn. M.J /12.5.2011	Kokonaisuus	Sähköpositio	Työnumero		
Piirt. M.J	Lehti 4 / 8	Piirustusnumero SÄH			
Tark.					

D muutos
E muutos
F muutos
A muutos
B muutos
C muutos

29.12.2011

Johdatuskaavio ilmajohto



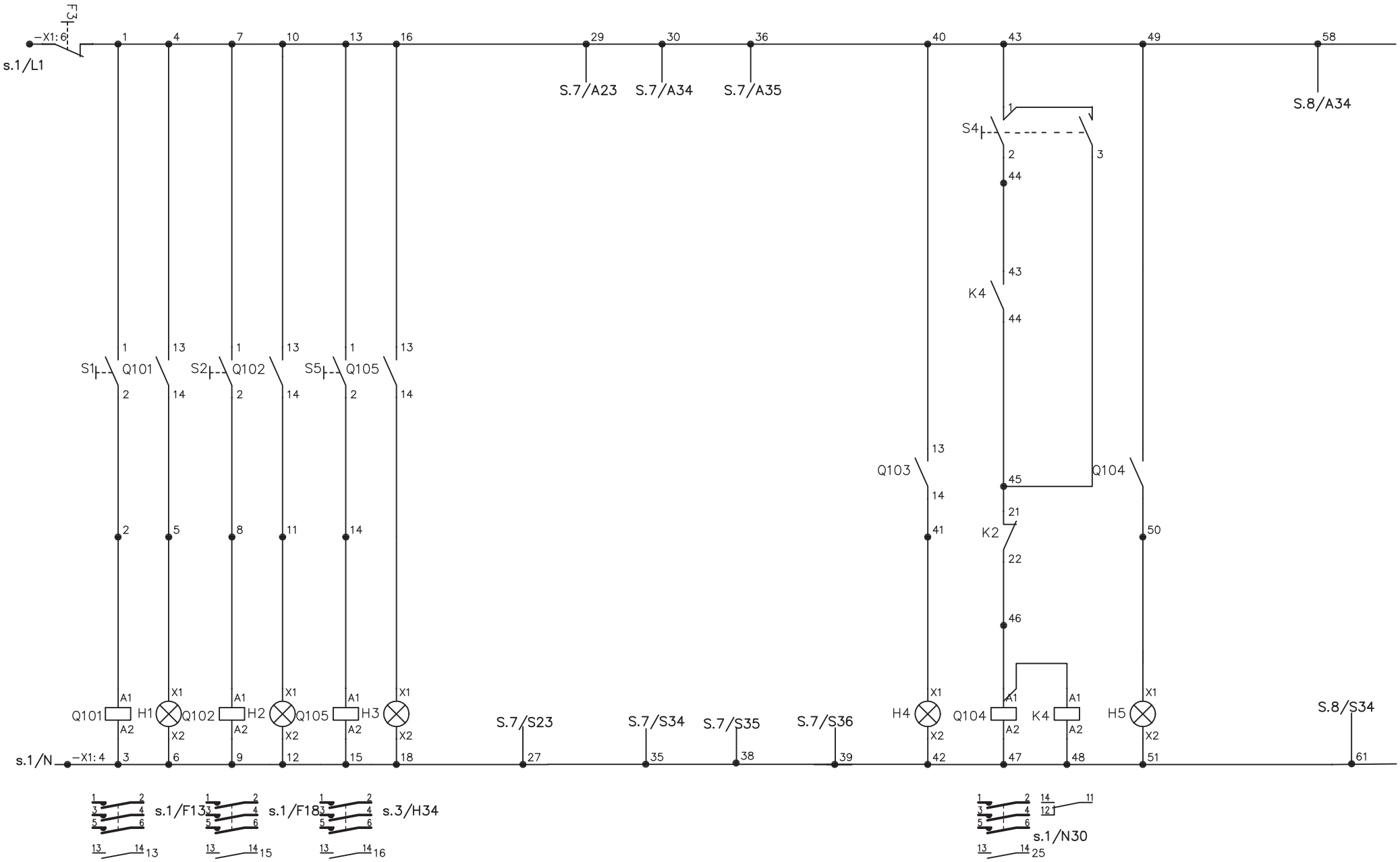
Suunn. M.J /12.5.2011	Kokonaisuus	Sähköpositio	Työnumero	
Piirt. M.J	Lehti 5/8	Piirustusnumero SÄH		
Tark.				

29.12.2011

D muutos
E muutos
F muutos

A muutos
B muutos
C muutos

Johdotuskaavio maakaapelilähtö



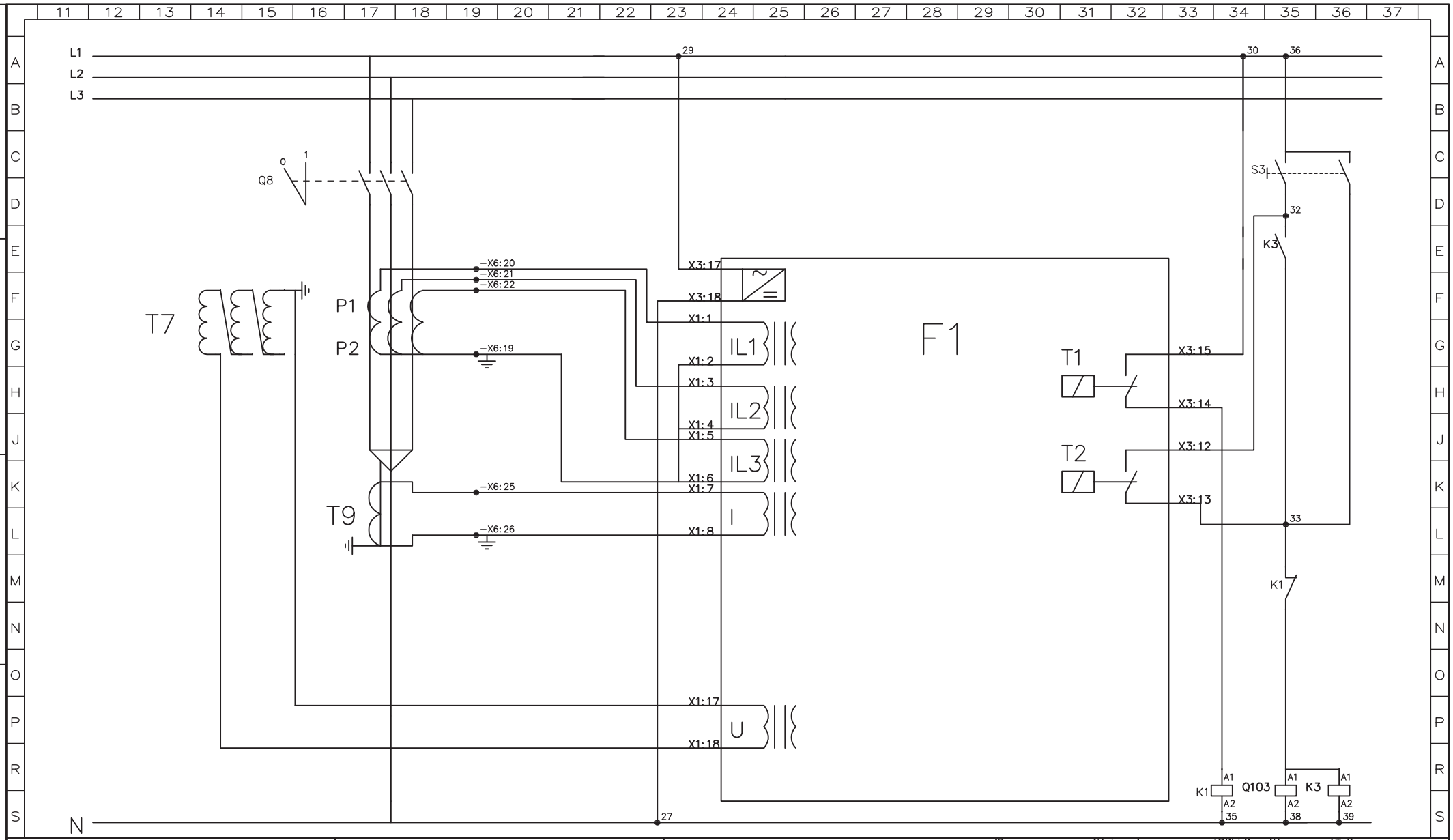
RIVILIITINRIMA -X6

Suunn. M.J /12.5.2011	Kokonaisuus	Sähköpositio	Työnumero
Piirt. M.J	Lehti 6 / 8	Piirustusnumero SÄH	
Tark.			

D muutos
C muutos
B muutos
A muutos

29.12.2011

JOHDOTUSKAAVIO ohjaukset



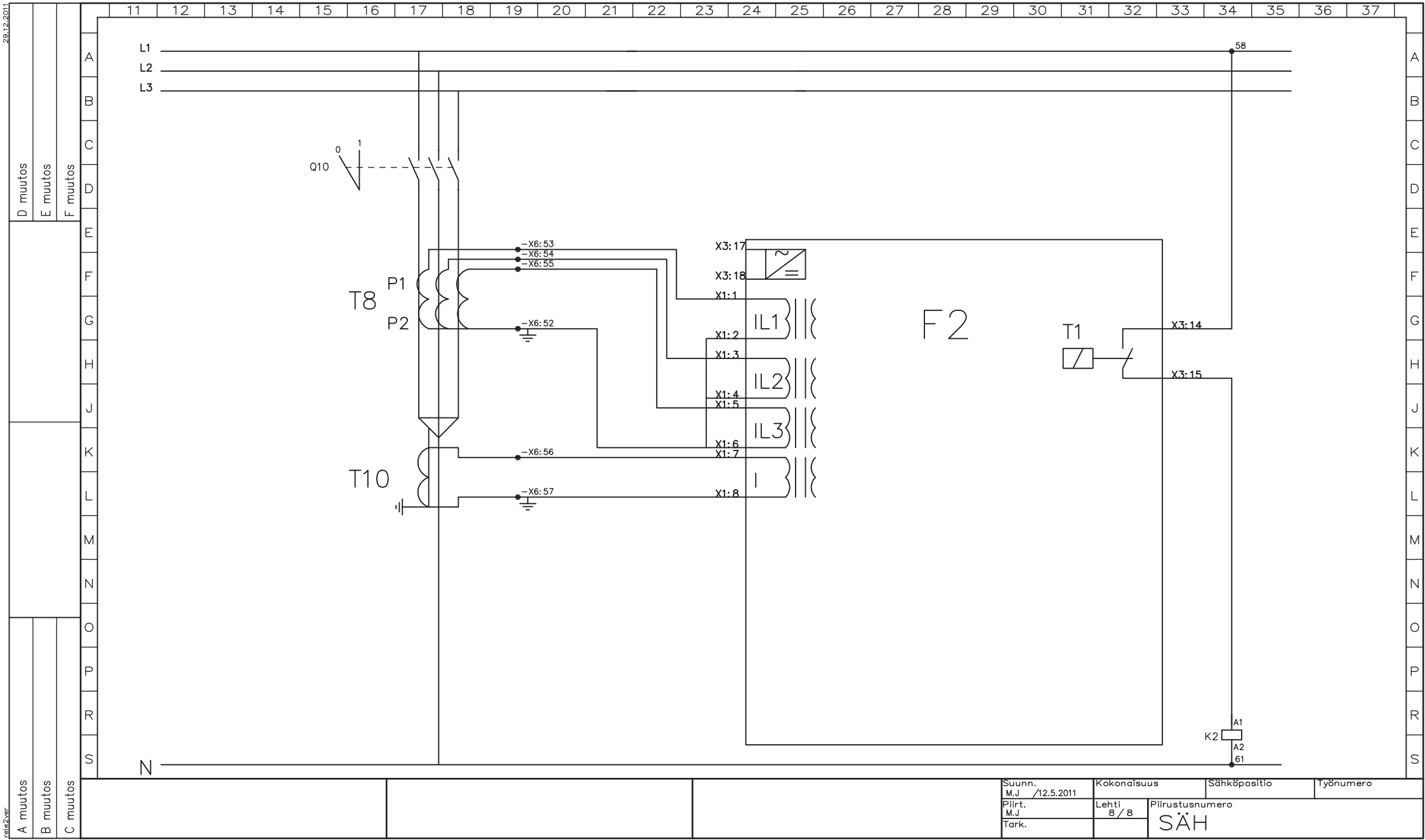
Suunn. M.J /12.5.2011	Kokonaisuus	Sähköpositio	Työnumero		
Piirt. M.J	Lehti 7 / 8	Piirustusnumero SÄH			
Tark.					

D muutos E muutos F muutos

A muutos B muutos C muutos

29.12.2011

relelver


L1
L2
L3
N
58
61
Q10
0
1
T8
P1
P2
T10
-X6:53
-X6:54
-X6:55
-X6:52
-X6:56
-X6:57
X3:17
X3:18
X1:1
X1:2
X1:3
X1:4
X1:5
X1:6
X1:7
X1:8
IL1
IL2
IL3
I
F2
T1
X3:14
X3:15
K2
A1
A2
D muutos
E muutos
F muutos
A muutos
B muutos
C muutos
29.12.2011
rele2ver
Suunn.
M.J /12.5.2011
Piirt.
M.J
Tark.
Kokonaisuus
Lehti
8 / 8
Sähköpositio
Piirustusnumero
SÄH
Työnumero